Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2014.9.6.649

차량 탑재를 위한 고속 중앙차선 인식 방법

장광희* · 곽성우**

Fast Center Lane Detection Method for Vehicle Applications

Kwang-Hee Jang* · Seong-Woo Kwak**

요 약

본 논문에서는 지능형 운전 시스템을 위한 중앙 차선 검출 알고리즘을 제안 한다. 차량의 진행 방향에 있는 가로 한 줄의 색상 정보를 분석하여 중앙 차선에 대한 색상 정보를 얻는다. 이를 기반으로 차선 경계값을 설정하고 형태학적 연산처리와 클러스트링, 그리고 가상 직선화를 통해 중앙 차선을 검출한다. 또한 예상 차선 영역을 설정하여 다음 영상 프레임에서 전체 영상이 아니라 예상 영역에서 차선을 탐색하게 하여 차선 검출 속도를 높였다.

ABSTRACT

In this paper, we address the problem of center lane detection algorithm for autonomous driving. Color information for center lane is gathered by analyzing a row line color distribution of road in front of a vehicle. The candidate pixels for center lane are extracted from the histogram of road colors. Morphological filtering and clustering process are applied to the candidate pixels to extract the exact center lane. We predict a expected area of center lane and search only the regions in subsequent frames, that reduces the time required for center lane detection.

키워드

Lane Detection, Color Information, Autonomous Vehicle, Clustering
차선 검출, 컬러색상 정보, 자율 주행 자동차, 클러스터링

Ⅰ. 서 론

차량 주행 중 발생하는 교통사고를 방지하기 위한 지능형 운전 시스템은 탑승자의 피해를 줄일 수 있는 매우 중요한 시스템이다[1-2]. 최근 지능형 운전 시스템은 IT기술 등의 발전으로 획기적인 성능 향상을 보이고 있으며 지능형 스마트 차량을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 특히 미국, 일본, 유럽 등의 자동차 선진국에서는 국가적 차원에서 기술개발에 인력 및 비용을 집중하고 있다.

차선이탈방지시스템은 지능형 자동차의 안전성에을 줄이기 위한 에어백 시스템과 달리 능동적 사고를 예방하기 위한 차선이탈방지시스템에 대한 관심이 지속적으로 높아지고 있다[3-4]. 이 시스템을 갖춘 자율주행 시스템을 구현하기 위해서는 다양한 색상의 도로나 차선인식뿐만 아니라 각종 형태의 교통 정보 등에 대한 높은 신뢰성을 갖는 검출이 필요하다. 이를 위한 주요 과제는 다양한 형태나 칼라 성분을 갖는

* 대구경북과학기술원(DGIST)(gwangheej@dgist.ac.kr)
** 교신저자(corresponding author) : 계명대학교 전자공학과(ksw@kmu.ac.kr)
접수일자 : 2014. 04. 15 심사(수정)일자 : 2014. 05. 23 게재확정일자 : 2014. 06. 16

도로 및 차선의 검출과 추종, 각종 장애물에 대한 최적의 신호 처리 알고리즘이 필요하다.

기존의 ITS 시스템을 위한 도로 및 차선검출 방법들은 카메라를 활용하고 이미지 처리를 통하여 비교적 저렴하게 구현될 수 있어 널리 활용되어 왔다[7]. 미국 Federal Highway Administration 자료에 의하면 차선이탈경보 시스템은 운전자 부주의로 초래 될 수 있는 사고의 53%를 방지 할 수 있다. 특히 심야 졸음운전은 차선이탈과 직결 된 사고로 연결될 수 있으며 이탈경보 시스템은 이러한 사고의 회피를 위한 필수적인 기능이다.

본 논문에서는 실용화를 목적으로 도로상의 그림자 등으로 인한 검색이 어려운 영역이 발생하는 경우에도 효과적인 차선을 검출하는 방법을 제안한다. 또한 실제 도로 영상의 실험을 통하여 그 효율성을 입증하였다. 카메라에서 출력되는 RGB 칼라정보는 조명 변화에 의해 발생되는 모든 조명조건을 보상 할 수 없다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 영상의 촬영시간 또는 주변 환경에 따라 달라질 수 있는 도로 위 색상정보의 수평샘플을 분석하여 히스토그램화 시키고, 부분적으로 발생하는 그림자나 기타 노이즈 값들로부터 명확하게 중앙 차선의 색상을 구분해 낼 수 있도록 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 컬러 모델에 대하여 설명하고, 3장에서는 중앙 차선 색상 검출 방법을 제안한다. 4장에서는 중앙 차선 검출 알고리즘을 소개하고, 5장에서 실험결과를 보여주며, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 컬러 모델

임의의 물체에 대한 칼라정보는 색의 밝기, 물체 고유의 반사특성, 촬상의 기하학적 특성 등에 좌우된다. 주변광(ambient light)이나 물체의 부분적인 움직임 등의 요인에도 영향을 크게 받을 뿐만 아니라 사용하는 카메라의 광학적 특성에 따라 동일한 촬상 조건에서도 다른 정보를 갖는 문제가 있다[8-11]. 지능형 차량을 위한 시스템에서 컬러는 중요한 정보로 활용 될 수 있다. 특히 도로 및 차선의 경우 사용되는 색상이 White(W), Black(B), Yellow(Y), Blue(B) 또는 Red(R) 등으로 매우 제한되어 있어 컬러정보의 효율적 이용으로 차선의 검출과 추종, 주행차량 주변의 장애물 검출 성능을 크게 개선시키는 것이 가능하다. 우선적으로 칼라모델을 적용하기 위해선 어떤 모델을 적용할 것인가에 대한 검토가 필요하다[6].

RGB 컬러 영상의 화소들은 청색, 녹색, 적색의 세 성분 영상들의 해당 화소들로부터 형성된다. RGB 칼라공간은 위 그림 1과 같이 RGB컬러 큐브에 의해 표현된다. 큐브의 각 부분들은 빛의 원색(적, 녹, 청)과 등화색(청록, 자홍, 황)으로 이루어진다. 모든 색상은 각 R,G,B색상성분의 선형 조합으로 표현할 수 있다. 실제 컴퓨터에서 사용하는 R,G,B성분의 값의 범위는 각각 [0,255]를 갖는다.

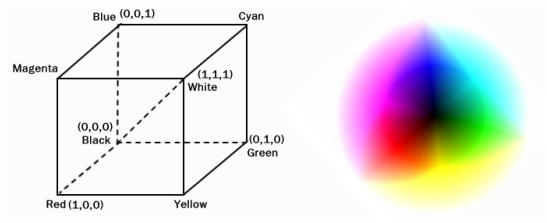


그림 1. RGB 컬러 모델
Fig. 1 RGB color model

III. 중앙 차선 색상 검출

기존의 여러 연구에서 차선을 결정하는 방법은 노란색과 흰색을 기준으로 하는 일정부분의 절대값을 결정해 그에 맞는 색상을 검색해 내는 방법이다. 그로 인해 시간 및 날씨에 따라 달라질 수 있는 색의 밝기 값에 많은 영향을 받았다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 매 시간마다 변화할 수 있는 밝기 정보와 도로 위에 부분적으로 생성되는 그림자 또는 물웅덩이 등이 포함되어 있는 도로 위 가로축 한 줄의 픽셀 전체 색상값을 활용한다. 이 가로축 한 줄의 색상값을 분석하여 차선으로 판단 될 수 있는 기준 색상을 찾는다.

그림 2는 중앙 차선의 색상 검출을 위한 도로 위 가로축 한 줄의 픽셀들을 보여준다. 카메라의 설치 위치에 따라 변화 할 수 있겠지만 카메라와 가까운 부분은 차량의 전면부가 촬영되고 차량의 앞부분은 도

로가 된다. 선택 된 한 라인의 모든 픽셀 값들을 R, G, B로 분류하여 각각의 값들의 평균과 분산값을 구해 더하면 그림 3과 같은 히스도그램이 만들어진다. 여기서 E_{YR}, E_{YG}, E_{YB}는 각 R, G, B색상의 평균값이고 σ_{YR}, σ_{YG}, σ_{YB}는 분산값이다. 중앙 차선에 대한 색상값 Yr, Yg, Yb는 다음과 같이 설정한다.

$$\begin{aligned} Y_R &> E_{YR} + \sigma_{YR,} \\ Y_G &> E_{YG} + \sigma_{YG} \\ Y_B &< E_{YB} + \sigma_{YB} \end{aligned} \quad (1)$$

그림 4는 식(1)을 원 도로 영상에 적용 하여 중앙 차선을 검출한 결과영상이다. 이와 같은 판단 방법은 태양의 기울기에 따라 시간대 별로 달라지는 조도 및 굳은 날씨 또는 도로 위에 발생할 수 있는 변수에도 효과 적인 대처가 된다.

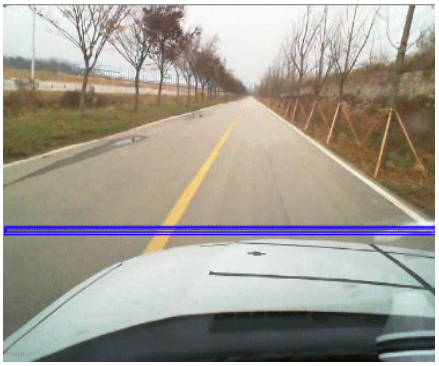
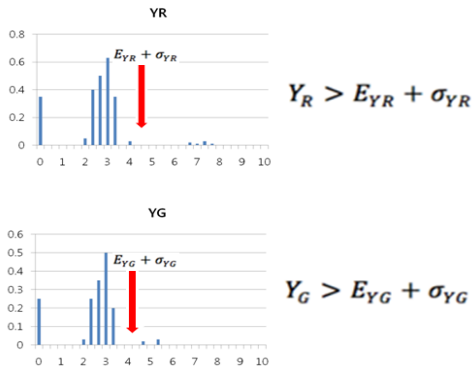


그림 2. 중앙 차선 색상 검출 영역
Fig. 2 Line for center-lane color detection



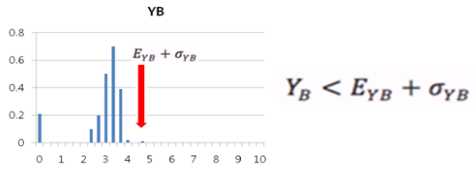


그림 3. 도로 위 색상의 히스토그램
Fig. 3 Histogram of road colors

그림 4. 중앙 차선 색상 검출 결과 영상
Fig. 4 Image after center-lane color detection

IV. 중앙 차선 검출 알고리즘

본 논문에서는 RGB 칼라모델을 적용한 형태학적 연산 처리와 차선 예상 영역설정을 통해 검색 시간을 단축시킨다. RGB 칼라 모델을 적용해 중앙 차선 후보 색상을 검출하고 검색된 색상 영역의 경계값을 설정 한다. 대부분의 설정 영역은 실제 차선 영역과 유사하지만 작은 노이즈 영역이 존재한다. 작은 영역들을 삭제하기 위해서 형태학적 영상처리를 사용한다 [7]. 처리된 각각의 경계값들 중 실제 차선과 가까운 경계값을 구분하기 위해서는 서로 인접한 경계값들을 모아서 구분해야 한다. 각각의 구분된 클러스터들을 직선화시키면 실제 차선을 확정할 수 있다. 확정된 차선의 정보는 다음 영상정보처리에 활용된다. 매 프레임마다 영상의 전체 영역을 검색할 경우 많은 시간이

걸리기 때문에 검색 예상영역을 설정한다. 전체적인 중앙 차선 검출 흐름도는 그림 5와 같다.

(1) 경계값 설정

차선으로 예상되는 색상을 검색해 화면에 표시 한 후 그 모든 픽셀들을 차선이라고 설정하고 영상처리를 하는 것은 처리 속도면에서 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 차선의 경계선을 검출한 후 이들을 클러스트링하여 차선 후보를 찾는다.

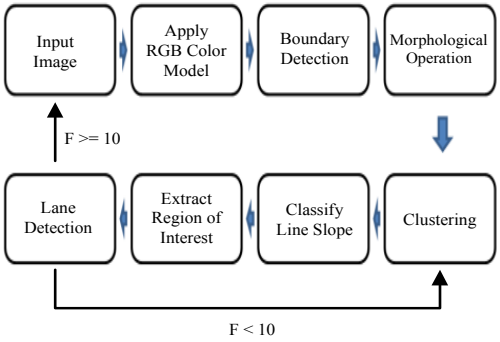


그림 5. 중앙 차선 검출 알고리즘의 흐름도
Fig. 5 Flow diagram of center-line detection algorithm

차선의 경계선을 검출하기 위해 3×3의 소벨(sobel) 마스크를 사용하였다. 소벨 마스크는 2차 미분 연산자이며 x축, y축으로 각각 한번씩 미분한다. 실제 차선을 구분하기 위해서는 차선으로 예상되는 영역의 픽셀 값들로 기울기를 연산해야 한다. 단순히 모든 컬러 예상 영역들로 기울기를 구할 경우 연산량이 늘어나게 된다.

(2) 형태학적 연산처리

형태학적 연산이란 이미지의 밝은 부분을 침식과 팽창 과정을 거치면서 이미지 내에 작은 부분들을 삭제해 주는 효과를 가진다. 영상 내 잡음이 많을수록 픽셀의 직선화 과정과 차선 선택 과정에서 많은 연산량이 필요하기 때문에 형태학적 연산처리를 통해 잡음을 제거해 준다. 경계값으로 검출된 픽셀 침식, 팽창 연산을 거치면 실제 차선 주위에 보다 선명하고 굵은 경계선이 출력된다. 본 논문에서는 이점을 주목하여 그림 4의 아래 영상에서 경계선 검출 후 형태학적 연산을 적용해 미세한 굵기를 가진 잡음들을 제거하였다. 그림 6은 이 결과를 보여준다. 이는 차선검출 후반에 있는 작업의 작업량을 줄여 처리속도를 증가시킨다.

(3) 클러스터링

경계값 추출을 거쳐 나온 결과값 들을 이용하여 차선을 검출해야 한다. 그림 6에서 보는 것처럼 결과 영상을 일반적인 사람의 눈으로 본다면 해당 결과 값이 차선과 같은 모양을 하고 있지만 사실 그것은 각각의 픽셀이 모여 있는 것뿐이다. 실제 실험에서는 나타나지 않았지만 경우에 따라서는 차선과 유사한 크기의 노이즈 값들이 존재 할 수 있다. 차선의 확인을 위해서는 각각의 픽셀들의 근접성을 판단해야 한다. 클러스터링 이란 각각의 픽셀들이 서로 얼마나 근접해 있는지, 근접한 픽셀들이 하나의 묶음으로 만들 수 있는지를 판단하고 서로 떨어져 있는 픽셀군집들을 서로 다른 객체로 판단하는 연산 과정이다.

그림 6. 형태학적 연산 후 영상
Fig. 6 Image after morphological operation

초기에 모든 경계값 픽셀의 클러스터 ID는 0으로 지정한다. 다음으로 클러스터의 ID가 0인 픽셀의 시작점을 두고 시작점 픽셀 ID를 1로 변경시킨다. 주변 5픽셀 이내에 ID가 0인 픽셀이 있는지 검색한다. 해당픽셀이 있다면 그 픽셀들은 ID 1로 변경시킨다. 주변 픽셀이 검색되지 않는다면 클러스터 ID는 2로 시작하고, 나머지 픽셀들에 대하여도 위와 동일한 과정을 거친다. 이 과정은 그림 7을 통해 알 수 있다. 그림 8은 실제 잡음이 존재하는 영상에서의 클러스터

분류과정을 보여준다.

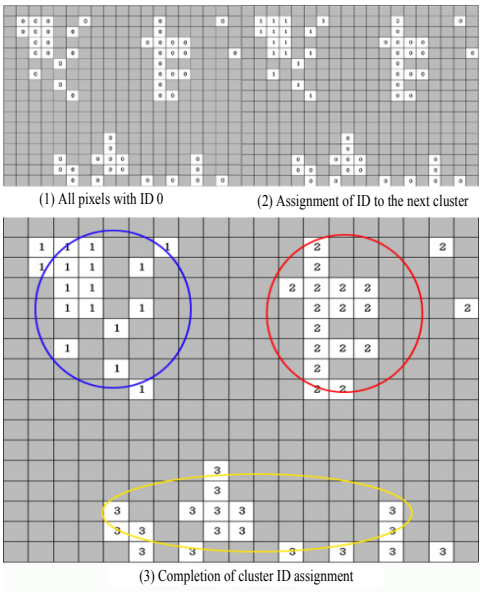


그림 7. 클러스터 분류과정
Fig. 7 Clustering algorithm

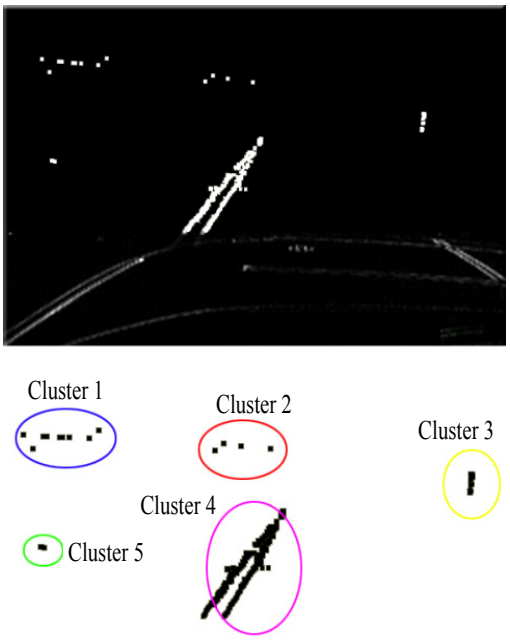


그림 8. 클러스터 분류 결과
Fig. 8 Clustering results

(4) 가상 직선화

본 연구에서는 각 클러스터들의 기울기를 이용한다. 일반적으로 중앙 차선은 영상에서의 수직이 되는 점에서 45도 각도를 크게 벗어나지 않는다. 기울기가 벗어난다는 것은 정지선을 의미하거나 차선이 아님을 의미 한다. 그림 9는 각 클러스터에 대한 기울기를 보여준다. 클러스터별 기울기는 영상에서의 수평과 기울어진 만큼의 기울기를 나타내며 90도와 가까운 클러스터들은 차선의 최종 후보가 된다.

(5) 예상 영역 설정

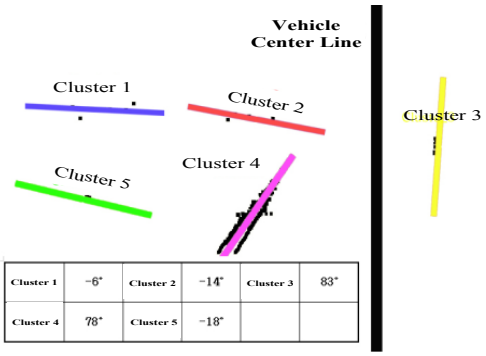


그림 9. 클러스터의 기울기
Fig. 9 Slope of each cluster

차량이 정상 주행 중일 때 중앙 차선은 차량 중심선의 왼쪽에 위치한다. 따라서 클러스터 중에서 차량의 왼쪽에 위치하면서 기울기가 45°~90°이내인 클러스터를 중앙차선 후보로 설정한다. 따라서 그림 9에서는 클러스터 4(cluster 4)가 최종 차선 후보가 된다.

차량이 주행 중에 실시간으로 차선을 인식하기 위해서는 빠른 영상처리가 필요하다. 이를 위해 차선 예상영역을 설정하여 전체 영상이 아니라 예상 영역내에서만 차선을 검출하도록 하여 연산속도를 높였다. 전체 영상에 대하여 에지, 칼라, 직선화 기울기 등 모든 특징점을 대상으로 영상처리를 수행 할 경우 많은 계산량과 메모리가 요구 된다. 실제 도로 영상에서 차선이 존재 할 가능성이 있는 영역보다 존재할 수 없는 영역이 훨씬 크고 그러한 부분은 영상처리가 필요 없다고 볼 수 있다. 실제 차선이 연속성과 완만한 변화의 특성을 가지고 있다는 것을 근거로 본 연구에서

는 직전 영상 처리 결과를 현재 영상처리에 반영해 차선을 찾도록 하였다.

본 논문에서는 그림 10과 같은 차선 예상영역을 설정 하였다. 직전 영상 프레임에서 왼쪽 중앙 차선이 이루는 각을 Θ라 하면, Θ_1과 Θ_2는 각각 최적의 예상 영역을 결정하기 위한 차선의 내각과 외각 이다. 각각 관심 영역들의 높이는 h이며 h는 30 픽셀로 고정시켜 사용하였다. 폭을 결정하는 Θ_1과 Θ_2는 각각 $\Theta \pm 5^\circ$ 의 값으로 설정한다. 각 예상 영역의 폭은 식 (2)와 같이 설정된다.

$$w = ((v/3) - h)(\cot\theta_2 - \cot\theta_1) \quad (2)$$

관심영역이 설정 되면 이후 10프레임 까지는 매 프레임마다 설정되는 관심영역 안에서만 색상 및 기울기를 검색한다.

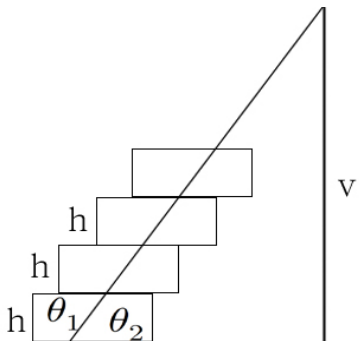


그림 10. 차선 예상영역 설정
Fig. 10 Region of interest for a lane

그림 11은 실제 영상에 대한 차선 예상 영역 설정 결과 화면이다. 그림 11에서와 같이 박스로 형성 된 관심영역 안에서 색상을 추출하고 경계선 및 기울기 연산과 같은 모든 과정을 반복한다.

V. 실험 결과

본 연구에서는 계명대학교에서 개발된 무인자율주행자동차의 자동차 내부 룸미러에 카메라를 설치하여 도로영상을 촬영하고, 촬영 된 영상에 대하여 차선 검출 알고리즘을 적용하였다. 촬영 된 영상에서의 최종 중앙 차선 검출 결과는 그림 12와 같다. 입력 영상에 대하여 경계값을 추출하고, 형태학적 연산 후, 중앙 차선 예상 영역을 설정한 후, 최종적으로 중앙 차선을 검출하였다. 그림 5에 제시된 알고리즘과 같이 차선 예상영역만을 검색하도록 하여 차선 검출 속도를 높였다.

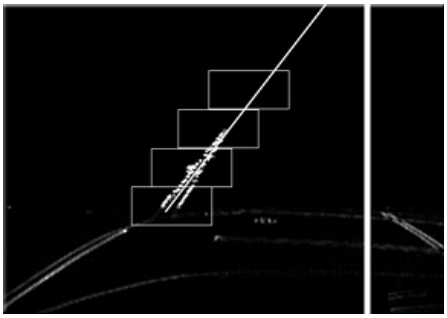


그림 11. 차선 예상영역 설정 결과
Fig. 11 Predicted region for center-lane

매 프레임별로 전체 검색영상을 검색하게 될 경우 불필요한 연산이 증가하고 이는 영상처리 속도에 영

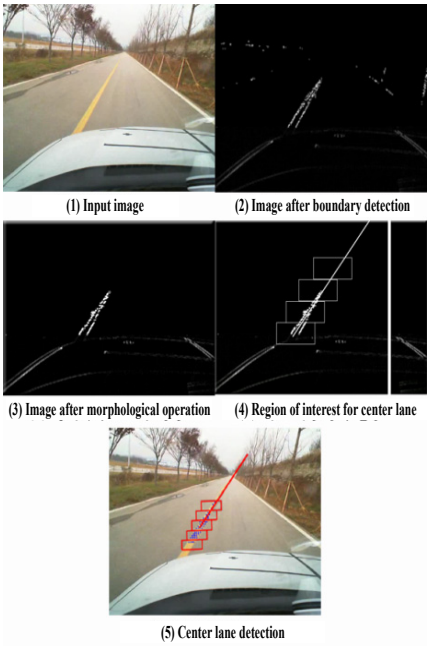


그림 12. 차선 검출 영상
Fig. 12 Lane detection for a real image

향을 미친다. 실험 결과에 따르면 전체 영상을 검색했을 경우 초당 18프레임의 영상을 처리할 수 있으나, 본 논문에서 제안한 알고리즘에 따라 예상 영역을 검색할 경우 초당 25프레임을 처리할 수 있었다. 따라서 대략 28%의 속도 향상을 이루었다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 차량 운전자 안전 보조 시스템을 위한 중앙 차선 검출 알고리즘을 제안하였다. 차량의 진행 방향에 있는 가로 한 줄의 색상 정보를 분석하여 중앙 차선에 대한 색상 정보를 얻고, 도로에 대한 컬러 히스토그램을 분석하여 차선 경계값을 설정한다. 형태학적 연산처리와 차선 후보 픽셀들에 대한 클러스터링, 그리고 클러스터링 된 가상 직선들의 기울기 분석을 통해 중앙 차선을 검출한다. 또한 예상 차선 영역을 설정하여 다음 영상 프레임에서 전체 영상이 아니라 예상 영역에서 차선을 탐색하게 하여 차선 검출 속도를 높였다.

References

[1] J. C. Mccal and M. M. Trivedi, “Video-based lane detection estimation and tracking for driver assistance: Survey, system, and evaluation,“ *IEEE Trans. Intell. Transportation Sys.*, vol. 7, no. 1, 2006, pp. 20-37.

[2] Q. Li, N. Zheng, and H. Cheng, “Springrobot : a prototype autonomous vehicle and its algorithm for lane detection,” *IEEE Trans. Intell. transportation Sys.*, vol. 5, no. 4, 2004, pp. 300- 308.

[3] C. Kreucher and S. Lakshmannan, “LANA: A lane extraction algorithm that uses frequency domain feature,” *IEEE Trans. Robotics and Automation,* vol. 15, no. 2, 1999, pp. 343-350.

[4] C.-K. Cheong, “High Speed Road Lane Detection based on Optimal Extraction of ROI-LB,” *J. of Broadcast Engineering,* vol. 14, no. 2, 2009, pp. 53-264.

[5] G.-Y. Kim, G.-H. Lee, J.-K. Do, K.-S. Park, and J.-S. Park, “Video Based Tail-Lights Status Recognition Algorithm,” *J. of KIECS,* vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1443-1449.

[6] S.-H. Oh and C.-K. Cheong, "Proposition of Lane Detection Algorism by Use of Color Information and Edge Information," In *Proc. IEIE conf.*, Nov. 2010, pp. 401-402.

[7] C. Bae, J.-H. Lee, and S.-B. Cho, “Lane Detection Algorithm using Morphology and Color Information,” *J. of IEIE*, 2010, vol. 48, no. 6, 2011, pp. 15-24.

[8] K.-S. Park and H.-T. Kim, “A Study for Video-based Vehicle Surveillance on Outdoor Road,” *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 11, 2013, pp. 1647-1653.

[9] K.-I. Kim, S.-H. Han, and J.-S. Park, “A Distortion Correction Method of Wide-Angle Camera Images through the Estimation and Validation of a Camera Model,” *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 12, 2013, pp. 1923-1931.

[10] J.-K. Song, “Improvement of Tracking Performance of Particle Filter in Low Frame Rate Video,” *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 2, 2014, pp. 143-148.

[11] K.-Y. Jung and E.-K. Kim, “Image Guidance System for Working with Abalone Park,” *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 3, 2014, pp. 369-375.

저자 소개

장광희(Gwang-Hee Jang)

2010년 계명대학교 전자공학과 졸업(학사)
2012년 계명대학교 지능형자동차공학과 졸업(석사)
2012년～현재 대구경북과학기술원 로봇시스템연구부 연구원
※ 관심분야 : 영상처리, 신호처리 시스템

곽성우(Seong-Woo Kwak)

1993년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학사)
1995년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사)
2000년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학박사)
2000년～2002년 인공위성연구센터 선임연구원
2003년～현재 계명대학교 전자공학과 부교수
※ 관심분야 : 위성 탑재 컴퓨터, 실시간 시스템, 비동기 시스템 설계, 내고장성 시스템 설계